

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 2 月 1 7 日
Date of Application:

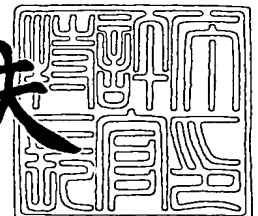
出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 4 0 5 0 2
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 4 0 5 0 2]

出 願 人 シチズン時計株式会社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 3 月 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 1 5 4 5 2

【書類名】 特許願
【整理番号】 CZ04-004
【提出日】 平成16年 2月17日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 33/02
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社
 内
 【氏名】 佐藤 雅浩
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社
 内
 【氏名】 寺嶋 一彦
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社
 内
 【氏名】 佐藤 惇司
【特許出願人】
 【識別番号】 000001960
 【氏名又は名称】 シチズン時計株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100104190
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 酒井 昭徳
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2003- 86843
 【出願日】 平成15年 3月27日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 041759
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0215023

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置であって、

前記装置本体が指し示す方向を x 軸とした場合に、当該 x 軸と前記水平面とのなす x 軸傾斜角と、前記 x 軸に直交する y 軸と前記水平面とのなす y 軸傾斜角とを検出する傾斜角検出手段と、

前記傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角および y 軸傾斜角を用いて、前記 x 軸および前記 y 軸が前記水平面上の軸となるように変換する変換手段と、

前記磁北を示す X 軸と前記変換手段によって変換された x 軸とのなす 1 次方位角を算出する 1 次方位角算出手段と、

前記傾斜角検出手段によって検出された x 軸傾斜角および y 軸傾斜角と、前記 1 次方位角算出手段によって算出された 1 次方位角と、に基づいて、前記変換手段による変換がおこなわれたことによって前記 1 次方位角に含まれた方位誤差角を抽出する方位誤差角抽出手段と、

を備えることを特徴とする方位測定装置。

【請求項 2】

前記方位誤差角は、

前記傾斜角検出手段によって検出された各傾斜角の方向および大きさに基づく一定量の第 1 の誤差角を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方位測定装置。

【請求項 3】

前記方位誤差角は、

前記 1 次方位角算出手段によって算出された 1 次方位角の値にしたがって前記第 1 の誤差角が変動する変動量をあらわす第 2 の誤差角を含むことを特徴とする請求項 2 に記載の方位測定装置。

【請求項 4】

前記 1 次方位角算出手段によって算出された 1 次方位角と、前記方位誤差角抽出手段によって抽出された方位誤差角と、に基づいて、前記装置本体の方位をあらわす 2 次方位角を算出する 2 次方位角算出手段を備えることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一つに記載の方位測定装置。

【請求項 5】

現在位置における偏角の入力を受け付ける偏角入力手段を備え、

前記 2 次方位角算出手段は、

さらに、前記偏角入力手段によって入力された偏角に基づいて、前記装置本体の方位をあらわす 2 次方位角を算出することを特徴とする請求項 4 に記載の方位測定装置。

【請求項 6】

前記 x 軸の方向、前記 y 軸の方向、または、前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第 1 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 1 軸地磁気量検出手段と、

前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の方向のうち、前記第 1 軸以外の軸（以下、「第 2 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 2 軸地磁気量検出手段と、

前記 X 軸、前記 Y 軸および前記 Z 軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量の入力を受け付ける合成地磁気量入力手段と、

前記合成地磁気量入力手段によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第 1 軸および第 2 軸地磁気量検出手段によって検出された前記第 1 軸および第 2 軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸および第 2 軸以外の軸（以下、「第 3 軸」という）方向の地磁気量を算出する地磁気量算出手段と、

前記第 1 軸～第 3 軸方向の地磁気量に基づいて、前記磁北を示す X 軸と前記変換手段に

よって変換された x 軸とのなす 1 次方位角を算出することを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一つに記載の方位測定装置。

【請求項 7】

水平面上の磁北を示す X 軸、前記水平面において X 軸に直交する Y 軸、および前記水平面に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定方法であって、

前記装置本体が指し示す方向を x 軸とした場合に、当該 x 軸と前記水平面とのなす x 軸傾斜角と、前記 x 軸に直交する y 軸と前記水平面とのなす y 軸傾斜角とを検出する傾斜角検出工程と、

前記傾斜角検出工程によって検出された x 軸傾斜角および y 軸傾斜角を用いて、前記 x 軸および前記 y 軸が前記水平面上の軸となるように変換する変換工程と、

前記磁北を示す X 軸と前記変換工程によって変換された x 軸とのなす 1 次方位角を算出する 1 次方位角算出工程と、

前記傾斜角検出工程によって検出された x 軸傾斜角および y 軸傾斜角と、前記 1 次方位角算出工程によって算出された 1 次方位角と、に基づいて、前記変換工程による変換がおこなわれたことによって前記 1 次方位角に含まれた方位誤差角を抽出する方位誤差角抽出工程と、

を含むことを特徴とする方位測定方法。

【請求項 8】

前記方位誤差角は、

前記傾斜角検出工程によって検出された各傾斜角の方向および大きさに基づく一定量の第 1 の誤差角を含むことを特徴とする請求項 7 に記載の方位測定方法。

【請求項 9】

前記方位誤差角は、

前記 1 次方位角算出工程によって算出された 1 次方位角の値にしたがって前記第 1 の誤差角が変動する変動量をあらわす第 2 の誤差角を含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方位測定方法。

【請求項 10】

前記 1 次方位角算出工程によって算出された 1 次方位角と、前記方位誤差角抽出工程によって抽出された方位誤差角と、に基づいて、前記装置本体の方位をあらわす 2 次方位角を算出する 2 次方位角算出工程を含むことを特徴とする請求項 7～9 のいずれか一つに記載の方位測定方法。

【請求項 11】

現在位置における偏角を入力する偏角入力工程を含み、

前記 2 次方位角算出工程は、

さらに、前記偏角入力工程によって入力された偏角に基づいて、前記装置本体の方位をあらわす 2 次方位角を算出することを特徴とする請求項 10 に記載の方位測定方法。

【請求項 12】

前記 x 軸の方向、前記 y 軸の方向、または、前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第 1 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 1 軸地磁気量検出工程と、

前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の方向のうち、前記第 1 軸以外の軸（以下、「第 2 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 2 軸地磁気量検出工程と、

前記 X 軸、前記 Y 軸および前記 Z 軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量を入力する合成地磁気量入力工程と、

前記合成地磁気量入力工程によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第 1 軸および第 2 軸地磁気量検出工程によって検出された前記第 1 軸および第 2 軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸および第 2 軸以外の軸（以下、「第 3 軸」という）方向の地磁気量を算出する地磁気量算出工程と、

前記第 1 軸～第 3 軸方向の地磁気量に基づいて、前記磁北を示す X 軸と前記変換工程によって変換された x 軸とのなす 1 次方位角を算出することを特徴とする請求項 7～11 のいずれか一つに記載の方位測定方法。

【請求項 13】

請求項 7～12 のいずれか一つに記載の方位測定方法を、コンピュータに実行させることを特徴とする方位測定プログラム。

【書類名】明細書

【発明の名称】方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラム

【技術分野】

【0001】

この発明は、水平面上の磁北を示すX軸、水平面においてX軸に直交するY軸、および水平面に直交するZ軸からなる3次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

電子方位計と呼ばれる方位測定装置は、複数の磁気センサを用いてそれぞれの地磁気量を検出し、その検出結果から、観察したい方向すなわち観測軸の方位を算出する装置である。この方位測定装置の応用分野としては、携帯電話、PDAまたは腕時計といった携帯情報端末、車両用方位計であるカーナビゲーション装置、航空機の姿勢検出装置、視覚障害者向けの方位測定装置、ゲーム機といったものまで知られている。

【0003】

特に、近年、携帯情報端末向けの位置情報提供サービスが始まっている。このサービスによれば、利用者の携帯情報端末の現在位置情報が分かるため、利用者が、携帯情報端末の表示画面に表示される地図上における利用者の現在位置を認識することができる。さらに、上述のように、携帯情報端末に方位測定装置を組み合わせることにより、利用者が今どの方角を向いているのか、或いはどの方角に向かおうとしているのかを認識することができる。この現在位置情報と方位測定装置に関する情報提供サービスは、今後多くの産業界に新しいビジネスを生み出し、また利用者に有益な情報を与えることができる。これに伴い、各種電子機器に搭載される方位測定装置には、現状より精度の高いものが求められる状況にある。

【0004】

しかし、方位測定装置が水平面から傾斜した場合には正確に方位角を測定できないという問題があった。具体的には、方位測定装置の利用者は、様々な使用方法や持ち方をするのが想定され、方位測定装置に備えられている磁気センサが、水平面に対して傾斜した状態で使用することも十分に考えられる。この場合、磁気センサの出力は、観測軸が同じ方位角を示していても傾斜角によって出力が変化するため、算出される方位角には誤差が発生してしまうという問題があった。

【0005】

また、x軸およびx軸に直交するy軸からなる2軸の磁気センサを用いた場合、x軸およびy軸が水平面上に対してある傾斜角分傾斜している状態で鉛直軸周りに回転させると、2軸の磁気センサの出力は単純なsin波形、cos波形ではあらずことができず、傾斜角によって伏角などの要素に依存した複雑な波形を示す。したがって、方位角 θ ($\theta = \arctan(y/x)$)は、多くの誤差を含んだ計算式となり、算出される方位角には誤差が発生してしまうという問題があった。

【0006】

この問題点に対して、傾斜に対する補正を自動的におこなうことができる全方位磁気センサが公開されている（例えば、下記特許文献1参照。）。この全方位磁気センサでは、以下の処理手順によって正確な方位を算出できる。図10は、従来技術の処理手順を示すフローチャートである。図10において、まず、磁気センサから3次元磁気ベクトルを検出する（ステップS1001）。つぎに、傾斜センサから装置本体のピッチ角およびロール角を検出する（ステップS1002）。そして、磁気センサからの3次元磁気ベクトルを、傾斜センサから検出されたピッチ角およびロール角に基づいて2回回転座標変換し、水平磁界成分の磁気ベクトルを算出する（ステップS1003）。さらに、水平磁界成分の磁気ベクトルから方位角を算出する（ステップS1004）。

【0007】

この全方位磁気センサでは、より具体的には、回転行列式を利用して地磁気ベクトルを

水平磁界成分に戻すという方法を採用している。この回転行列は、水平面上の磁北を示す X 軸、水平面において X 軸に直交する Y 軸、および水平面に直交する Z 軸からなる絶対座標系において、装置本体を X 軸回りに回転させる回転行列と、装置本体を Y 軸回りに回転させる回転行列との積を用いている。なお、センサ本体が指し示す方向を x 軸、x 軸に直交する y 軸、x 軸および x y 平面に直交する z 軸からなる座標系を、観測座標系と呼ぶ。この場合の回転軸としては、絶対座標系を用いた場合に相当する。したがって、X 軸回りの回転行列の役割は、y 軸を水平面に移動させることであり、Y 軸回りの回転行列の役割は、x 軸を水平面に移動させることである。

【0008】

ここで、具体的に数式を用いて従来技術の方位測定について更に詳細に説明する。x 軸、y 軸および z 軸からなる観測座標系は、X 軸、Y 軸および Z 軸からなる絶対座標系を Z 軸回りに θ 、Y 軸反時計回りに β 、X 軸反時計回りに α 回転させた座標系である。x 軸は観測軸である。また、Z 軸回りの回転行列を Z_r 、Y 軸回りの回転行列を Y_r 、X 軸回りの回転行列を X_r とする。

【0009】

観測座標系における地磁気の方位ベクトル (x_H , y_H , z_H) は、絶対座標系における地磁気の方位ベクトル (X , Y , Z) を、回転行列 Z_r 、 Y_r および X_r の逆行列によって変換した形であらわすことができる。ここで、水平面における方位角 θ の各軸方向の出力値を (x_h , y_h , z_h) とすると、 Z_r の回転行列と絶対座標系での地磁気の方位ベクトルとの積により、観測座標系における地磁気の方位ベクトル (x_H , y_H , z_H) は、下記の式 (1) によって表現することができる。

【数 1】

$$\begin{pmatrix} x_H \\ y_H \\ z_H \end{pmatrix} = Y_r^{-1} X_r^{-1} Z_r^{-1} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = Y_r^{-1} X_r^{-1} \begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \end{pmatrix} \quad \dots (1)$$

【0010】

この式 (1) を下記式 (2) に変形することによって、この水平面における方位角 θ における各軸方向の出力値 (x_h , y_h , z_h) を、観測座標系における地磁気の方位ベクトル (x_H , y_H , z_H) を用いた式に変換することができる。なお、式 (2) 中、 α の符号が逆転しているのは、反時計回りの回転行列を基準にしているため、傾斜角の出力値と回転方向が逆になるからである。

【数 2】

$$\begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \end{pmatrix} = X_r Y_r \begin{pmatrix} x_H \\ y_H \\ z_H \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} x_H \\ y_H \\ z_H \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} x_H \cos \beta - z_H \sin \beta \\ -x_H \sin \alpha \sin \beta + y_H \cos \alpha - z_H \sin \alpha \cos \beta \\ x_H \cos \alpha \sin \beta + y_H \sin \alpha + z_H \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

【0011】

上記式 (2) から、観測座標系を水平に変換した場合の各軸方向の出力値 (x_h , y_h , z_h) を得ることができる。水平方向の出力値が分かれば、下記式 (3) および x_h , y_h

の符号に応じた条件分岐から、方位角 θ を求めることができる。

【数 3】

$$\theta = \arctan\left(\frac{y_h}{x_h}\right) \quad \dots (3)$$

【0012】

また、算出した磁方位に対して偏角値を補正して真方位を算出する方位測定装置が開示されている（例えば、下記特許文献 2 参照。）。地図上の北となる真北と、磁針の示す北となる磁北とは、若干のズレが生じている。日本では、すべての地域が西偏となっているため、磁針は真北から若干西寄りを指し示す。この方位測定装置によれば、算出された磁方位を、偏角値を用いて補正することにより、真北と磁北との誤差を修正することができる。

【0013】

【特許文献 1】 特開 2002-196055 号公報 （第 5 頁、数 2）

【特許文献 2】 特許第 3008813 号公報 （第 10 頁、図 5）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、上述した従来技術においては、装置本体が水平状態から傾斜した場合には方位角の測定誤差が発生し、さらに傾斜角が大きくなるほど誤差も大きくなってしまいうという問題があった。より具体的には、x 軸および y 軸を水平面に変換する処理、すなわち X 軸回りにロール角分逆回りに回転させ、Y 軸回りにピッチ角分逆回りに回転させると、厳密には水平面に変換できないという問題があった。その理由は、x 軸および y 軸と水平面とのなす傾斜角（ピッチ角およびロール角）をそのまま回転行列式に利用できないという点にある。

【0015】

すなわち、y 軸を水平にするために X 軸回りのロール角 α g 分逆回りに回転させると、y 軸は水平面に移動されるが、x 軸も y 軸の移動に追従して移動してしまう。すると、x 軸と水平面とのなす角はピッチ角 β g と一致しなくなってズレが生じるため、Y 軸回りにピッチ角分逆回りに回転をおこなっても、x 軸を水平面に移動させることができないという問題があった。さらに、水平面に移動された y 軸も、x 軸回りの回転により水平面から移動して、ズレてしまうという問題があった。このように、上述した従来技術の構成では、傾斜角の条件によっては地磁気ベクトルが水平面に戻らないため、その分の誤差を含んだ方位角を算出してしまい、精度上問題があった。

【0016】

また、上述した従来技術では、X 軸回りおよび Y 軸回りの回転よりも先に Z 軸回りの回転 θ をおこなっているため、観測座標系の観測軸（x 軸）が示す方位角と、この x 軸を水平面に回転移動させたときに示す方位角とは、ずれを生じる場合がある。したがって、上述した従来技術の構成では、ロール角 α g とピッチ角 β g の条件によっては、地磁気ベクトルが水平面に一致しないため、その分の誤差を含んだ結果となる。

【0017】

さらに、観測座標系を構成する x 軸、y 軸、z 軸の軸回りに回転させることにより、方位角を算出することも考えられる。しかしながら、x 軸、y 軸、z 軸自体を算出することは、回転行列内の要素が複雑化するため、方位角を算出することが困難であるという問題があった。

【0018】

この発明は、上述した従来技術による問題点を解消するため、簡易かつ高精度な方位測定をおこなうことができる方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムを提

供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0019】

上述した課題を解決し、目的を達成するため、請求項1の発明にかかる方位測定装置は、水平面上の磁北を示すX軸、前記水平面においてX軸に直交するY軸、および前記水平面に直交するZ軸からなる3次元空間における装置本体の方位を測定する方位測定装置であって、前記装置本体が指し示す方向をx軸とした場合に当該x軸と前記水平面とのなすx軸傾斜角と、前記x軸に直交するy軸と前記水平面とのなすy軸傾斜角とを検出する傾斜角検出手段と、前記傾斜角検出手段によって検出されたx軸傾斜角およびy軸傾斜角を用いて、前記x軸および前記y軸が前記水平面上の軸となるように変換する変換手段と、前記磁北を示すX軸と前記変換手段によって変換されたx軸とのなす1次方位角を算出する1次方位角算出手段と、前記傾斜角検出手段によって検出されたx軸傾斜角およびy軸傾斜角と、前記1次方位角算出手段によって算出された1次方位角と、に基づいて、前記変換手段による変換がおこなわれたことによって前記1次方位角に含まれた方位誤差角を抽出する方位誤差角抽出手段と、を備えることを特徴とする。

【0020】

また、請求項2の発明にかかる方位測定装置は、請求項1に記載の発明において、前記方位誤差角は、前記傾斜角検出手段によって検出された各傾斜角の方向および大きさに基づく一定量の第1の誤差角を含むことを特徴とする。

【0021】

また、請求項3の発明にかかる方位測定装置は、請求項2に記載の発明において、前記方位誤差角は、前記1次方位角算出手段によって算出された1次方位角の値にしたがって前記第1の誤差角が変動する変動量をあらわす第2の誤差角を含むことを特徴とする。

【0022】

また、請求項4の発明にかかる方位測定装置は、請求項1～3のいずれか一つに記載の発明において、前記1次方位角算出手段によって算出された1次方位角と、前記方位誤差角抽出手段によって抽出された方位誤差角と、に基づいて、前記装置本体の方位をあらわす2次方位角を算出する2次方位角算出手段を備えることを特徴とする。

【0023】

また、請求項5の発明にかかる方位測定装置は、請求項4に記載の発明において、現在位置における偏角の入力を受け付ける偏角入力手段を備え、前記2次方位角算出手段は、さらに、前記偏角入力手段によって入力された偏角に基づいて、前記装置本体の方位をあらわす2次方位角を算出することを特徴とする。

【0024】

また、請求項6の発明にかかる方位測定装置は、請求項1～5のいずれか一つに記載の発明において、前記x軸の方向、前記y軸の方向、または、前記x軸および前記y軸に直交するz軸の方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第1軸」という）の方向の地磁気量を検出する第1軸地磁気量検出手段と、前記x軸、前記y軸および前記z軸の方向のうち、前記第1軸以外の軸（以下、「第2軸」という）の方向の地磁気量を検出する第2軸地磁気量検出手段と、前記X軸、前記Y軸および前記Z軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量の入力を受け付ける合成地磁気量入力手段と、前記合成地磁気量入力手段によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第1軸および第2軸地磁気量検出手段によって検出された前記第1軸および第2軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記x軸、前記y軸および前記z軸の軸方向のうち、前記第1軸および第2軸以外の軸（以下、「第3軸」という）方向の地磁気量を算出する地磁気量算出手段と、前記第1軸～第3軸方向の地磁気量に基づいて、前記磁北を示すX軸と前記変換手段によって変換されたx軸とのなす1次方位角を算出することを特徴とする。

【0025】

また、請求項7の発明にかかる方位測定方法は、水平面上の磁北を示すX軸、前記水平面においてX軸に直交するY軸、および前記水平面に直交するZ軸からなる3次元空間に

おける装置本体の方位を測定する方位測定方法であって、前記装置本体が指し示す方向を x 軸とした場合に当該 x 軸と前記水平面とのなす x 軸傾斜角と、前記 x 軸に直交する y 軸と前記水平面とのなす y 軸傾斜角とを検出する傾斜角検出工程と、前記傾斜角検出工程によって検出された x 軸傾斜角および y 軸傾斜角を用いて、前記 x 軸および前記 y 軸が前記水平面上の軸となるように変換する変換工程と、前記磁北を示す X 軸と前記変換工程によって変換された x 軸とのなす 1 次方位角を算出する 1 次方位角算出工程と、前記傾斜角検出工程によって検出された x 軸傾斜角および y 軸傾斜角と、前記 1 次方位角算出工程によって算出された 1 次方位角と、に基づいて、前記変換工程による変換がおこなわれたことによって前記 1 次方位角に含まれた方位誤差角を抽出する方位誤差角抽出工程と、を含むことを特徴とする。

【0026】

また、請求項 8 の発明にかかる方位測定方法は、請求項 7 に記載の発明において、前記方位誤差角は、前記傾斜角検出工程によって検出された各傾斜角の方向および大きさに基づく一定量の第 1 の誤差角を含むことを特徴とする。

【0027】

また、請求項 9 の発明にかかる方位測定方法は、請求項 8 に記載の発明において、前記方位誤差角は、前記 1 次方位角算出工程によって算出された 1 次方位角の値にしたがって前記第 1 の誤差角が変動する変動量をあらわす第 2 の誤差角を含むことを特徴とする。

【0028】

また、請求項 10 の発明にかかる方位測定方法は、請求項 7～9 のいずれか一つに記載の発明において、前記 1 次方位角算出工程によって算出された 1 次方位角と、前記方位誤差角抽出工程によって抽出された方位誤差角と、に基づいて、前記装置本体の方位をあらわす 2 次方位角を算出する 2 次方位角算出工程を含むことを特徴とする。

【0029】

また、請求項 11 の発明にかかる方位測定方法は、請求項 10 に記載の発明において、現在位置における偏角を入力する偏角入力工程を含み、前記 2 次方位角算出工程は、さらに、前記偏角入力工程によって入力された偏角に基づいて、前記装置本体の方位をあらわす 2 次方位角を算出することを特徴とする。

【0030】

また、請求項 12 の発明にかかる方位測定方法は、請求項 7～11 のいずれか一つに記載の発明において、前記 x 軸の方向、前記 y 軸の方向、または、前記 x 軸および前記 y 軸に直交する z 軸の方向のうち、いずれか一つの軸（以下、「第 1 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 1 軸地磁気量検出工程と、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の方向のうち、前記第 1 軸以外の軸（以下、「第 2 軸」という）の方向の地磁気量を検出する第 2 軸地磁気量検出工程と、前記 X 軸、前記 Y 軸および前記 Z 軸の各地磁気量が合成された現在位置における合成地磁気量を入力する合成地磁気量入力工程と、前記合成地磁気量入力工程によって入力された現在位置における合成地磁気量と、前記第 1 軸および第 2 軸地磁気量検出工程によって検出された前記第 1 軸および第 2 軸の方向の地磁気量とに基づいて、前記 x 軸、前記 y 軸および前記 z 軸の軸方向のうち、前記第 1 軸および第 2 軸以外の軸（以下、「第 3 軸」という）方向の地磁気量を算出する地磁気量算出工程と、前記第 1 軸～第 3 軸方向の地磁気量に基づいて、前記磁北を示す X 軸と前記変換工程によって変換された x 軸とのなす 1 次方位角を算出することを特徴とする。

【0031】

また、請求項 13 の発明にかかる方位測定プログラムは、請求項 7～12 のいずれか一つに記載の方位測定方法を、コンピュータに実行させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0032】

本発明にかかる方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムによれば、装置本体が指し示す方向となる x 軸を水平面上の軸に変換することによって 1 次方位角に含まれる方位誤差角の値が、装置本体のロール角およびピッチ角の組み合わせによって変動

しても、1次方位角ごとに、装置本体のロール角およびピッチ角に対応した方位誤差角を抽出することができ、1次方位角および抽出した方位誤差角によって真の方位角となる2次方位角を算出することができる。したがって、装置本体が傾斜した状態でも、簡単な演算によって簡易かつ高精度な方位測定をおこなうことができるという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0033】

以下に添付図面を参照して、この発明にかかる方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムの好適な実施の形態を詳細に説明する。また、この実施の形態において、水平面上の磁北を示すX（アルファベット大文字）軸、水平面においてX軸に直交するY（アルファベット大文字）軸、および水平面に直交するZ（アルファベット大文字）軸からなる座標系を絶対座標と呼ぶ。また、装置本体が指し示す方向をx（アルファベット小文字）軸、x軸に直交する軸をy（アルファベット小文字）軸、x軸およびy軸に直交する軸をz（アルファベット小文字）軸と呼ぶ。さらに、x軸はX軸に、y軸はY軸に、z軸はZ軸に対応するものとする。

【0034】

（実施の形態）

（方位測定装置のハードウェア構成）

まず、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置のハードウェア構成について説明する。図1は、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置のハードウェア構成を示すブロック図である。図1において、方位測定装置100は、CPU101と、ROM102と、RAM103と、HDD（ハードディスクドライブ）104と、HD（ハードディスク）105と、ディスプレイ106と、I/F（インターフェース）107と、入力キー108と、A/D変換器109と、x軸磁気センサ110と、y軸磁気センサ111と、z軸磁気センサ112と、GPS（Global Positioning System）レシーバ113と、A/D変換器114と、x軸傾斜センサ115と、y軸傾斜センサ116と、z軸傾斜センサ117と、を備えている。また、各構成部は、バス118によってそれぞれ接続されている。

【0035】

ここで、CPU101は、方位測定装置100の全体の制御を司る。ROM102は、ブートプログラムなどのプログラムを記憶している。RAM103は、CPU101のワークエリアとして使用される。HDD104は、CPU101の制御にしたがってHD105に対するデータのリード/ライトを制御する。HD105は、HDD104の制御で書き込まれたデータを記憶する。

【0036】

ディスプレイ106は、カーソル、アイコンあるいはツールボックスをはじめ、文書、画像、機能情報などのデータを表示する。このディスプレイ106は、たとえば、CRT、TFT液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ等を採用することができる。

【0037】

I/F107は、通信回線を通じてインターネットなどのネットワークに接続され、このネットワークを介して他の装置に接続される。そして、I/F107は、ネットワークと内部のインターフェースを司り、外部装置からのデータの入出力を制御する。I/F107には、たとえばモデムやLANアダプタなどを採用することができる。入力キー108は、文字、数字、各種指示などの入力のためのキーを備え、データの入力をおこなう。また、タッチパネル式の入力パッドやテンキーなどであってもよい。

【0038】

A/D変換器109は、x軸磁気センサ110、y軸磁気センサ111、およびz軸磁気センサ112の検出出力をデジタル信号に変換する。x軸磁気センサ110は、装置本体が方位を指し示す方向となるx軸に配置され、x軸方向の地球の磁気、たとえば、磁束、磁束密度、または磁界を検出する。同様に、y軸磁気センサ111は、x軸に直交するy軸に配置され、y軸方向の磁気を検出する。z軸磁気センサは、x軸およびy軸に直交

する z 軸に配置され、 z 軸方向の磁気を検出する。 x 軸磁気センサ 110、 y 軸磁気センサ 111、および z 軸磁気センサ 112 の検出出力は、電気信号として A/D 変換器 109 に出力する。

【0039】

GPS レシーバ 113 は、GPS 衛星からの電波を受信し、GPS 衛星との幾何学的位置を求めるものであり、地球上どこでも計測可能である。電波としては、1,575.42 MHz の搬送波で、C/A (Coarse and Access) コードおよび航法メッセージが乗っている L1 電波を用いておこなわれる。C/A コードはビット率 1,023 Mbps で、コードの長さは 1023 bit = 1 ms である。また、航法メッセージはビット率 50 bps で、コードの長さは、サブフレームが 300 bit = 6 s であり、メインフレームが 1500 bit = 30 s であり、5 サブフレームが 1 メインフレームであり、25 メインフレームが 1 マスターフレームである。すなわち、GPS 衛星からの電波を受信して GPS 測位データを出力する。

【0040】

A/D 変換器 114 は、 x 軸傾斜センサ 115、 y 軸傾斜センサ 116、および z 軸傾斜センサ 117 の検出出力をデジタル信号に変換する。 x 軸傾斜センサ 115、 y 軸傾斜センサ 116、および z 軸傾斜センサ 117 は、各軸の傾斜量を検出するものであり、具体的には、加速度センサによって構成される。 x 軸傾斜センサ 115 は、 x 軸に配置され、水平面に対する x 軸方向の傾斜量を出力する。 y 軸傾斜センサ 116 は、 y 軸に配置され、水平面に対する y 軸方向の傾斜量を出力する。 z 軸傾斜センサ 117 は、 y 軸に配置され、 z 軸方向の傾斜量を出力する。

【0041】

つぎに、図 1 に示した方位測定装置 100 が配置されている絶対座標系について説明する。図 2 は、図 1 に示した方位測定装置 100 が配置されている絶対座標系を示す説明図である。図 2 において、 X 軸、 Y 軸および Z 軸によって形成される 3 次元空間 (球体) 200 は、絶対座標系を構成する。方位測定装置 100 の装置本体 120 は原点 O に位置している。装置本体 120 の長手方向は、上述した x 軸となる。この x 軸を水平面 210 に移動させたときの軸と X 軸とのなす角が方位角 θ となる。また、水平面 210 と x 軸とのなす傾斜角 (x 軸傾斜角) はピッチ角 β_g とよばれ、装置本体 120 を y 軸回りに回転させて水平面 210 に移動させたときの角度となる。さらに、水平面 210 と y 軸とのなす傾斜角 (y 軸傾斜角) はロール角 α_g と呼ばれ、装置本体 120 を x 軸回りに回転させて水平面 210 に移動させたときの角度となる。

【0042】

また、ベクトル 201 は、図 1 に示した x 軸磁気センサ 110 によって検出された x 軸方向の地磁気ベクトルをあらわしている。同様に、ベクトル 202 は、図 1 に示した y 軸磁気センサ 111 によって検出された y 軸方向の地磁気ベクトルをあらわしている。また、ベクトル 203 は、図 1 に示した z 軸磁気センサ 112 によって検出された z 軸方向の地磁気ベクトルをあらわしている。各ベクトル 201 ~ 203 の長さは、それぞれ各方向の地磁気量をあらわしている。

【0043】

さらに、ベクトル 204 は、地磁気ベクトルをあらわしており、ベクトル 201 ~ 203 の合成ベクトルとなる。また、地磁気ベクトルと水平面 210 とのなす角は装置本体 120 の現在位置における伏角 I である。したがって、絶対座標系における地磁気ベクトル 204 の座標は、地磁気ベクトルの大きさ (合成地磁気量 F) を Sh とすると、 $(X, Y, Z) = (Sh \cdot \cos \theta, 0, Sh \cdot \sin \theta)$ となる。また、ベクトル 201 ~ 204 およびこれらの地磁気量の関係を以下に示す。

【0044】

【数 4】

$$|S_h| = \sqrt{\bar{x}_H^2 + \bar{y}_H^2 + \bar{z}_H^2} \quad \dots (4)$$

$$\bar{x}'_H = \frac{\bar{x}_H}{|S_h|} \quad \dots (5)$$

$$\bar{y}'_H = \frac{\bar{y}_H}{|S_h|} \quad \dots (6)$$

$$\bar{z}'_H = \frac{\bar{z}_H}{|S_h|} \quad \dots (7)$$

$|S_h|$: 合成地磁気量Fに相当する磁気センサの出力値

\bar{x}'_H : x軸磁気センサの出力値を全体の出力値で規格化した値

\bar{x}_H : x軸磁気センサの出力値

\bar{y}'_H : y軸磁気センサの出力値を全体の出力値で規格化した値

\bar{y}_H : y軸磁気センサの出力値

\bar{z}'_H : z軸磁気センサの出力値を全体の出力値で規格化した値

\bar{z}_H : z軸磁気センサの出力値

【0045】

また、上述したピッチ角 β g (x軸傾斜角) およびロール角 α g (y軸傾斜角) は、図 1 に示した x 軸傾斜センサ 115 および y 軸傾斜センサ 116 によって検出される。また、x 軸傾斜センサ 115、y 軸傾斜センサ 116、および z 軸傾斜センサ 117 から検出されたベクトル (不図示) およびこれらの傾斜量との関係を以下に示す。

【数 5】

$$\alpha_g = \sin^{-1} \frac{\bar{y}_g}{W_g} \quad \dots (8)$$

$$\beta_g = \sin^{-1} \frac{\bar{y}_g}{W_g} \quad \dots (9)$$

$$W_g = \sqrt{\bar{x}_g^2 + \bar{y}_g^2 + \bar{z}_g^2} \quad \dots (10)$$

\bar{x}_g : x軸加速度センサの出力値

\bar{y}_g : y軸加速度センサの出力値

\bar{z}_g : z軸加速度センサの出力値

W_g : 重力加速度に相当する加速度センサの出力合計値

【0046】

(方位測定装置の機能的構成)

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置100の機能的構成について説明する。図3は、この発明の実施の形態にかかる方位測定装置100の機能的構成を示すブロック図である。図3において、方位測定装置100は、地磁気量検出部301と、傾斜角検出部302と、方位角算出部303と、から構成されている。

【0047】

地磁気量検出部301は、x軸方向地磁気量検出部311と、y軸方向地磁気量検出部312と、z軸方向地磁気量検出部313と、合成地磁気量入力部314と、地磁気量算出部315と、から構成されている。x軸方向地磁気量検出部311は、x軸方向の地磁気量を検出する。具体的には、図1に示したx軸磁気センサ110の出力からx軸方向の地磁気量を検出し、合成地磁気量Fの出力値Shによって規格化する。

【0048】

また、y軸方向地磁気量検出部312は、y軸方向の地磁気量を検出する。具体的には、図1に示したy軸磁気センサ111の出力からy軸方向の地磁気量を検出し、合成地磁気量Fの出力値Shによって規格化する。さらに、z軸方向地磁気量検出部313は、z軸方向の地磁気量を検出する。具体的には、図1に示したz軸磁気センサ112からの出力からz軸方向の地磁気量を検出し、合成地磁気量Fの出力値Shによって規格化する。

【0049】

合成地磁気量入力部314は、装置本体120の現在位置における合成地磁気量を入力する。具体的には、図1に示したGPSレシーバ113から得られた装置本体120の現在位置情報を、図示しないサーバに送信する。当該サーバでは、受信した現在位置情報から、装置本体120の現在位置を示す緯度および経度を割り出し、その緯度および経度に対応する合成地磁気量Fの出力値Shを方位測定装置100に送信する。方位測定装置100は、この合成地磁気量Fの出力値Shを受信する。

【0050】

地磁気量算出部 315 は、合成地磁気量入力部 314 によって入力された現在位置における合成地磁気量と、x 軸方向地磁気量検出部 311、y 軸方向地磁気量検出部 312、または z 軸方向地磁気量検出部 313 の中から選ばれた 2 つの軸（第 1 軸および第 2 軸）方向の地磁気量検出部 301 と、に基づいて、第 1 軸および第 2 軸以外の軸（第 3 軸）の方向の地磁気量を算出する。具体的には、たとえば、方位測定装置 100 が、x 軸磁気センサ 110 と y 軸磁気センサ 111 を備え、z 軸磁気センサ 112 を備えていない場合、上述した式 (4) を用いて、z 軸方向の地磁気量を算出する。

【0051】

傾斜角検出部 302 は、x 軸傾斜角検出部 321 と、y 軸傾斜角検出部 322 と、から構成されている。x 軸傾斜角検出部 321 は、x 軸傾斜センサ 115 の出力から、ピッチ角 β_g となる水平面 210 と x 軸とのなす x 軸傾斜角を検出する。また、y 軸傾斜角検出部 322 は、y 軸傾斜センサ 116 の出力から、ロール角 α_g となる水平面 210 と y 軸とのなす y 軸傾斜角を検出する。

【0052】

方位角算出部 303 は、変換部 331 と、1 次方位角算出部 332 と、方位誤差角抽出部 333 と、偏角入力部 336 と、2 次方位角算出部 337 と、を備えている。変換部 331 は、傾斜角検出部 302 によって検出された x 軸傾斜角および y 軸傾斜角を用いて、x 軸および y 軸が水平面 210 上の軸となるように変換する。具体的には、地磁気量検出部 301 によって検出された各地磁気量をあらわす 3 次元磁気ベクトル 201 ~ 203（図 2 を参照。）を、傾斜角検出部 302 によって検出された x 軸傾斜角および y 軸傾斜角を用いて 2 回回転座標変換し、水平磁界成分の磁気ベクトルにする。

【0053】

ここで、変換部 331 による変換処理を、具体的に数式を用いて更に詳細に説明する。x 軸、y 軸および z 軸からなる観測座標は、X 軸、Y 軸および Z 軸からなる絶対座標系を Z 軸反時計回りに θ 、Y 軸反時計回りに β 、X 軸反時計回りに α 回転させた座標系である。x 軸は観測軸である。また、Z 軸回りの回転行列を Z_r 、Y 軸回りの回転行列を Y_r 、X 軸回り回転行列を X_r とする。

【0054】

観測座標系における地磁気の方位ベクトル (x_H , y_H , z_H) は、絶対座標系における地磁気の方位ベクトル (X , Y , Z) を、回転行列 Z_r 、 Y_r および X_r の逆行列によって変換した形であらわすことができる。ここで、水平面における方位角 θ の各軸方向の出力値を (x_h , y_h , z_h) とすると、 Z_r の回転行列と絶対座標系での地磁気の方位ベクトルとの積により、観測座標系における地磁気の方位ベクトル (x_H , y_H , z_H) は、下記の式 (11) によって表現することができる。

【数 6】

$$\begin{pmatrix} x_H \\ y_H \\ z_H \end{pmatrix} = Y_r^{-1} X_r^{-1} Z_r^{-1} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = Y_r^{-1} X_r^{-1} \begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \end{pmatrix} \quad \cdots (11)$$

【0055】

この式 (11) を下記式 (12) に変形することによって、この水平面における方位角 θ における各軸方向の出力値 (x_h , y_h , z_h) を、観測座標系における地磁気の方位ベクトル (x_H , y_H , z_H) を用いた式に変換することができる。なお、式 (12) 中、 α の符号が逆転しているのは、反時計回りの回転行列を基準にしているため、傾斜角の出力値と回転方向が逆になるからである。

【数 7】

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \end{pmatrix} &= X_r Y_r \begin{pmatrix} x_H \\ y_H \\ z_H \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} x_H \\ y_H \\ z_H \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} x_H \cos \beta - z_H \sin \beta \\ -x_H \sin \alpha \sin \beta + y_H \cos \alpha - z_H \sin \alpha \cos \beta \\ x_H \cos \alpha \sin \beta + y_H \sin \alpha + z_H \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix} \quad \dots (12)
 \end{aligned}$$

【0056】

1次方位角算出部332は、磁北を示すX軸と変換部331によって変換されたx軸とのなす1次方位角 θ_1 を算出する。具体的に数式を用いて説明すると、上記式(12)から、観測座標系を水平に変換した場合の各軸方向の出力値(x_h 、 y_h 、 z_h)を得ることができる。水平方向の出力値が分かれば、下記式(13)および x_h 、 y_h の符号に応じた条件分岐から、1次方位角 θ_1 を求めることができる。

【数 8】

$$\theta_1 = \arctan \left(\frac{y_h}{x_h} \right) \quad \dots (13)$$

【0057】

方位誤差角抽出部333は、傾斜角検出部302によって検出されたx軸傾斜角(ピッチ角 β_g)およびy軸傾斜角(ロール角 α_g)と、1次方位角算出部332によって算出された1次方位角 θ_1 と、に基づいて、変換部331による変換がおこなわれたことによって1次方位角 θ_1 に含まれた方位誤差角 $\Delta\theta$ を抽出する。具体的には、方位誤差角抽出部333は、方位誤差角パラメータ記憶部334と、方位誤差角算出部335とによって構成される。

【0058】

方位誤差角パラメータ記憶部334は、方位誤差角 $\Delta\theta$ の算出に必要なパラメータを記憶する。ここで、方位誤差角パラメータ記憶部334の記憶内容について具体的に説明する。図4は、方位誤差角パラメータ記憶部334の記憶内容を示す説明図である。方位誤差角パラメータ記憶部334は、ロール角 α_g およびピッチ角 β_g の組み合わせごとに、方位誤差角パラメータとなる方位誤差オフセット δ 、振幅量 $W\theta$ 、および位相差 ω を記憶する。ここで、方位誤差オフセット δ とは、傾斜角検出部302によって検出された各傾斜角(ロール角 α_g およびピッチ角 β_g)の方向および大きさに基づいて設定された一定の値である。

【0059】

また、振幅量 $W\theta$ は、方位誤差角 $\Delta\theta$ の変動量となる正弦曲線の振幅をあらわしている。位相差 ω は、方位誤差角 $\Delta\theta$ の変動量となる正弦曲線の正負の特性を示している。この正弦曲線については後述する。方位誤差角パラメータ記憶部334は、具体的には、たとえば、図1に示したROM102、RAM103、HD105などによって、その機能を実現する。

【0060】

方位誤差角算出部335は、傾斜角検出部302によって検出された各傾斜角(ロール角 α_g およびピッチ角 β_g)と、1次方位角算出部332によって算出された1次方位角

$\theta 1$ と、に基づいて、変換部 331 による変換がおこなわれたことにより 1 次方位角 $\theta 1$ に含まれた方位誤差角 $\Delta \theta$ を出力する。具体的には、方位誤差角パラメータ記憶部 334 から方位誤差角パラメータとなる方位誤差オフセット δ 、振幅量 $W \theta$ 、および位相差 ω を抽出する。そして、この抽出した方位誤差角パラメータを用いて方位誤差角 $\Delta \theta$ を算出する。より具体的に数式を用いて説明すると、下記式 (14) の方位誤差角 $\Delta \theta$ の変動量となる正弦曲線に、方位誤差パラメータおよび 1 次方位角 $\theta 1$ を代入することによって方位誤差角 $\Delta \theta$ を算出する。

$$\Delta \theta = \delta + \omega \times W \theta \times \sin \theta 1 \cdots (14)$$

なお、位相差 ω は、正の場合は「+1」、負の場合は「-1」の値をとる。

【0061】

ここで、式 (14) の右辺中、方位誤差オフセット δ は、傾斜角検出部 302 によって検出された各傾斜角（ロール角 αg およびピッチ角 βg ）の方向および大きさに基づく一定量の第 1 の誤差角であり、 $\omega \times W \theta \times \sin \theta 1$ は、方位誤差角 $\Delta \theta$ の変動特性をあらわす正弦曲線であり、この正弦曲線の値が、第 1 の誤差角である方位誤差オフセット δ が変動する変動量をあらわす第 2 の誤差角となる。

【0062】

偏角入力部 336 は、現在位置における磁北と真北とのなす偏角 D を入力する。ここで、現在位置の偏角については、日本国内では、国土地理院が磁気測量を実施した結果を公開しており、その表に基づいて各地の偏角 D を知ることができる。具体的には、図 1 に示した GPS レシーバ 113 から得られた装置本体 120 の現在位置情報を、図示しないサーバに送信する。当該サーバでは、受信した現在位置情報から、装置本体 120 の現在位置を示す緯度および経度を割り出し、その緯度および経度に対応する偏角データを方位測定装置 100 に送信する。方位測定装置 100 は、この偏角データを受信する。また、偏角入力部 336 は、2 次式で近似した偏角値算出法によっておこなうこともできる。具体的には、下記式 (15) ~ 式 (17) を用いて偏角 D を算出することによって偏角 D を入力することができる。

【0063】

【数 9】

$$D_{2000.0} = 7^{\circ}37.142' + 21.622'\Delta\phi - 7.672'\Delta\lambda + 0.442'\Delta\phi^2 - 0.32'\Delta\phi\Delta\lambda + 0.675'\Delta\lambda^2 \cdots (15)$$

$$\Delta\phi = (\text{測定位置での緯度}\phi) - 37 \cdots (16)$$

$$\Delta\lambda = (\text{測定位置での経度}\lambda) - 138 \cdots (17)$$

【0064】

2 次方位角算出部 337 は、1 次方位角算出部 332 によって算出された 1 次方位角 $\theta 1$ と、方位誤差角算出部 335 によって算出された方位誤差角 $\Delta \theta$ とに基づいて、装置本体 120 の方位をあらわす 2 次方位角 $\theta 2$ を算出する。具体的には、下記式 (18) を用いて、磁北を基準とした方位角 $\theta 2 a$ を算出する。

$$\theta 2 a = \theta 1 - \Delta \theta \cdots (18)$$

【0065】

また、2 次方位角算出部 337 は、さらに偏角入力部 336 によって入力された偏角 D に基づいて、下記式 (19) を用いて、真北を基準とした方位角 $\theta 2 b$ を算出する。

$$\theta 2 b = \theta 1 - \Delta \theta - D \cdots (19)$$

【0066】

ここで、上述した 1 次方位角 $\theta 1$ 、方位誤差角 $\Delta \theta$ 、2 次方位角 $\theta 2 a$ 、 $\theta 2 b$ 、磁北

となるX軸、および装置本体120が指し示す方向となるx軸、および真北方向の関係を図5において図示する。なお、上述した地磁気量検出部301、傾斜角検出部302および方位角算出部303は、具体的には、たとえば、図1に示したROM102、RAM103、HD105などに記録されたプログラムをCPU101が実行することによって、その機能を実現する。

【0067】

(2次方位角の算出原理)

つぎに、この発明の実施の形態にかかる2次方位角の算出原理について説明する。図6および図7は、この発明の実施の形態にかかる2次方位角の算出原理をあらわすグラフであり、1次方位角 θ_1 と方位誤差角 $\Delta\theta$ との関係をあらわしている。図6および図7において、横軸は、1次方位角 θ_1 をあらわしており、縦軸は、方位誤差角 $\Delta\theta$ をあらわしている。この図6において、ロール角 α_g およびピッチ角 β_g の組み合わせごとに、1次方位角 θ_1 と方位誤差角 $\Delta\theta$ との関係をあらわす変動関数601~606がプロットされている。また、このプロットされた変動関数601~606は、真の方位角である2次方位角を方位誤差角 $\Delta\theta=0$ とした場合に、変換部331による変換処理によって1次方位角 θ_1 に含まれていることとなった誤差量をあらわすものである。

【0068】

ここで、図6に示した変動関数604を例に挙げて説明する。この変動関数604は、ロール角 α_g が 30° 、ピッチ角 β_g が -30° のときの方位誤差角 $\Delta\theta$ を示した特性曲線である。この正弦曲線から、方位誤差オフセット δ は 16.8° 、振幅量 W_θ は 5.3° 、位相差 ω は負の特性を持つということがわかる。この位相差 ω は、変動関数604が正弦曲線に従うときを正(+)とし、 180° 位相が進んだ場合の正弦曲線を負(-)と表現している。

【0069】

そして、2次方位角 θ_2 を算出する方法について説明する。図7において、変動関数701は、ロール角 α_g が -30° 、ピッチ角 β_g が -30° のときの正弦曲線である。上記式(14)の右辺第1項により、この変動関数701の方位誤差オフセット δ である第1の誤差角 δ_1 をキャンセルすると、変動関数702となる。この変動関数702において、上記式(14)の右辺第2項により、第1の誤差角 δ_1 の変動量となる第2の誤差角 δ_2 ($\delta_2 = \omega \times W_\theta \times \sin \theta_1$) をキャンセルすると、変動関数702は変動関数703に変換される。この変動関数703は、方位誤差角 $\Delta\theta=0$ をあらわしているため、1次方位角 θ_1 から方位誤差角 $\Delta\theta$ が消去されたこととなる。

【0070】

(方位算出処理手順)

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順(その1)について説明する。図8は、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順(その1)を示すフローチャートである。図8において、まず、x軸、y軸およびz軸磁気センサ110~112の出力から、x軸方向、y軸方向およびz軸方向の地磁気量を検出する(ステップS801)。また、x軸およびy軸傾斜センサ115、116の出力から、x軸傾斜角(ピッチ角 β_g)およびy軸傾斜角(ロール角 α_g)を検出する(ステップS802)。

【0071】

つぎに、上記式(12)を用いて、x軸方向、y軸方向およびz軸方向の地磁気量と、x軸傾斜角(ピッチ角 β_g)およびy軸傾斜角(ロール角 α_g)とに基づいて、x軸およびy軸を水平面210上の軸となるように変換処理をおこなう(ステップS803)。そして、上記式(13)を用いて、変換されたx軸と磁北の方向をあらわすX軸とのなす角、すなわち、1次方位角 θ_1 を算出する(ステップS804)。

【0072】

つぎに、ステップS802において検出されたx軸傾斜角(ピッチ角 β_g)およびy軸傾斜角(ロール角 α_g)の方位誤差角パラメータ(方位誤差オフセット δ 、振幅量 W_θ 、および位相差 ω)を抽出して、ステップS804において算出された1次方位角の方位誤

差角 $\Delta\theta$ を算出する (ステップ S805)。現在位置における偏角 D が入力されていない場合 (ステップ S806: No)、上記式 (18) を用いて、磁北を基準とした 2 次方位角 θ_{2a} を算出する (ステップ S807)。一方、現在位置における偏角 D が入力された場合 (ステップ S806: Yes)、上記式 (19) を用いて、真北を基準とした 2 次方位角を算出する (ステップ S808)。

【0073】

この実施の形態によれば、変換部 331 による変換処理によって 1 次方位角 θ_1 に含まれていることとなった方位誤差角 $\Delta\theta$ を、装置本体 120 のロール角 α_g およびピッチ角 β_g の組み合わせごとに算出することとしたため、方位誤差角 $\Delta\theta$ を 0 にすることができ、精度良く真の方位角 θ_2 を算出することができる。

【0074】

つぎに、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順 (その 2) について説明する。図 9 は、この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順 (その 2) を示すフローチャートである。この処理手順は、いわゆる 2 軸の磁気センサによって 2 次方位角 θ_2 を算出する処理手順である。ここでは、一例として、y 軸を第 1 軸とし、z 軸を第 2 軸とし、x 軸を第 3 軸とする。そして、磁気センサは、第 1 軸および第 2 軸に設けられ、第 3 軸には設けられていないものとする。

【0075】

図 9 において、まず、第 1 軸および第 2 軸の磁気センサの出力から、第 1 軸方向および第 2 軸方向の地磁気量を検出する (ステップ S901)。そして、現在位置の合成地磁気量を入力する (ステップ S902)。日本国内各地の合成地磁気量 F は、下記式 (20) ~ 式 (22) で近似することができる。

【0076】

【数 10】

$$F_{2000.0} = 47505.3881 + 567.453\Delta\phi - 294.499\Delta\lambda - 0.225\Delta\phi^2 - 2.975\Delta\phi\Delta\lambda + 1.291\Delta\lambda^2 \quad \dots(20)$$

$$\Delta\phi = (\text{測定位置での緯度}\phi) - 37 \quad \dots(21)$$

$$\Delta\lambda = (\text{測定位置での経度}\lambda) - 138 \quad \dots(22)$$

【0077】

つぎに、第 3 軸の地磁気量を算出する (ステップ S903)。ここで、第 3 軸の地磁気量は、下記式 (23) ~ 式 (25) によって算出することができる。

【数 11】

$$\bar{x}'_H = \frac{\bar{x}_H}{|S'_h|} \quad \dots (23)$$

$$\bar{y}'_H = \frac{\bar{y}_H}{|S'_h|} \quad \dots (24)$$

$$\bar{z}'_H = \sqrt{1 - (\bar{x}'_H{}^2 + \bar{y}'_H{}^2)} \quad \dots (25)$$

\bar{x}'_H, \bar{y}'_H : x、y軸磁気センサの出力値を S'_h で規格化した値

\bar{x}_H, \bar{y}_H : x、y軸磁気センサの出力値

$|S'_h|$: 合成地磁気量 F に相当する磁気センサの出力値

【0078】

そして、算出された第3軸の地磁気量を出力する(ステップS904)。このあとは、上述した図8に示した算出処理手順(ステップS802～S808)と同一であるため省略する。この処理手順によれば、2軸の磁気センサによって3軸の磁気センサと同様に高精度な方位測定をおこなうことができる。また、部品点数を減少でき、小型化および軽量化を図ることができるため、安価な方位測定装置100を提供することができる。

【0079】

なお、上述した実施の形態では、方位誤差角 $\Delta\theta$ は、方位誤差角算出部335によって算出することによって方位誤差角 $\Delta\theta$ を出力することとしているが、方位誤差角パラメータ記憶部334において、ロール角 α_g およびピッチ角 β_g ごとにあらかじめ算出された方位誤差角 $\Delta\theta$ を記憶しておくことにより、方位誤差角パラメータ記憶部334から、現在の装置本体120のロール角 α_g およびピッチ角 β_g に対応する方位誤差角 $\Delta\theta$ を抽出することとしてもよい。

【0080】

また、上述した実施の形態では、1次方位角 θ_1 と方位誤差角 $\Delta\theta$ だけでなく、さらに日本国内での偏角 D を用いた補正方法について述べたが、これに限定されるものではない。たとえば、世界中のあらゆる地域においても測定位置の緯度 ϕ および経度 λ が分かれば、偏角 D および合成地磁気量 F を取得することができる。したがって、偏角 D および合成地磁気量 F のデータをデータベースとして予め記憶させることによって、そのいずれの地域でも正確な方位を取得することができる。

【0081】

また、算出式についても、上記実施の形態に限定するものではなく、利用者が偏角 D を直接入力して行う方法、位置情報を通信、電波或いはGPSなどにより自動的に取得して測定式で算出する方法あるいはネットワーク上にある位置情報と偏角 D および合成地磁気量 F との対応テーブルを備えたサーバにアクセスすることにより、偏角 D および合成地磁気量 F を自動的に取得する方法等を利用することができる。

【0082】

さらに、上述した実施の形態では、ICモジュール的な説明を行ったが、それに限定されるものではなく、表示装置、電源を備えて単体で動作する方位測定装置100でもよい。また、各種電子機器へ組み込まれている構成としてもよい。さらに、図1に示したすべてのハードウェア構成がひとつにまとまっていることには限定されず、例えば、方位測定装置100が備えられている各種機器側のCPUやマイコンによって測定処理を行う構成としてもよい。

【0083】

また、上述した実施の形態では、偏角Dおよび合成地磁気量Fは、現在位置の緯度と経度から偏角Dと合成地磁気量Fとのデータを取得できるため、これらデータの選択組み合わせはユーザの自由である。また選択しなかった場合でも、初期値を方位測定装置100内に記憶させておくことにより方位測定をおこなうことができる。

【0084】

さらに、上述した実施の形態では、3軸の傾斜センサ115～117として3軸加速度センサを用いて、出力合計値Wgを各軸の加速度センサの出力値の自乗の和の平方根で算出したが、重力加速度gがその出力合計値Wgに相当するため、その値を用いてもよい。この場合、上記の出力合計値Wgを算出するとその測定における加速度量が分かる。また、この加速度量を既知の重力加速度と比較することによって、重力以外の加速度因子が働いているかなどの情報も同時に分かり、それを利用した補正をおこなうこともできる。さらに、傾斜センサ115～117としては、3軸でなく2軸でおこなうこととしてもよい。その場合は、上述した重力加速度に相当する出力合計値Wgを入力することによって、各軸の傾斜角を算出することができる。

【0085】

この方位測定装置100のユーザは、様々な使用方法、持ち方をすることが想定され、方位測定装置100すなわち磁気センサ110～112が水平面210に対して傾斜した状態で使用することも十分に考えられる。そのような場合においても、この実施の形態によれば、装置本体120が傾斜した状態でも高精度に真の方位角（2次方位角 θ_2 ）を算出することができる。特に、携帯電話、PDAといった携帯情報端末や腕時計などに有効的である。また、方位測定装置100で用いるアルゴリズムも簡素な形であり、各種機器に組み込みやすいという効果を奏する。

【0086】

なお、この実施の形態で説明した方位算出処理方法は、予め用意されたプログラムをパーソナル・コンピュータやワークステーション等のコンピュータで実行することにより実現することができる。このプログラムは、ハードディスク、フレキシブルディスク、CD-ROM、MO、DVD等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録され、コンピュータによって記録媒体から読み出されることによって実行される。またこのプログラムは、インターネット等のネットワークを介して配布することが可能な伝送媒体であってもよい。

【産業上の利用可能性】

【0087】

以上のように、本発明にかかる方位測定装置、方位測定方法、および方位測定プログラムは、携帯電話、PDAまたは腕時計といった携帯情報端末、車両用方位計であるカーナビゲーション装置、航空機の姿勢検出装置、視覚障害者向けの電子方位計、ゲーム機に有用である。

【図面の簡単な説明】

【0088】

【図1】この発明の実施の形態にかかる方位測定装置のハードウェア構成を示すブロック図である。

【図2】図1に示した方位測定装置100が配置されている絶対座標系を示す説明図である。

【図3】この発明の実施の形態にかかる方位測定装置100の機能的構成を示すブ

ック図である。

【図 4】 方位誤差角パラメータ記憶部の記憶内容を示す説明図である。

【図 5】 1 次方位角、方位誤差角、2 次方位角、X 軸、x 軸、および真北方向の関係を示す説明図である。

【図 6】 この発明の実施の形態にかかる 2 次方位角の算出原理をあらわすグラフ（その 1）である。

【図 7】 この発明の実施の形態にかかる 2 次方位角の算出原理をあらわすグラフ（その 2）である。

【図 8】 この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その 1）を示すフローチャートである。

【図 9】 この発明の実施の形態にかかる方位算出処理手順（その 2）を示すフローチャートである。

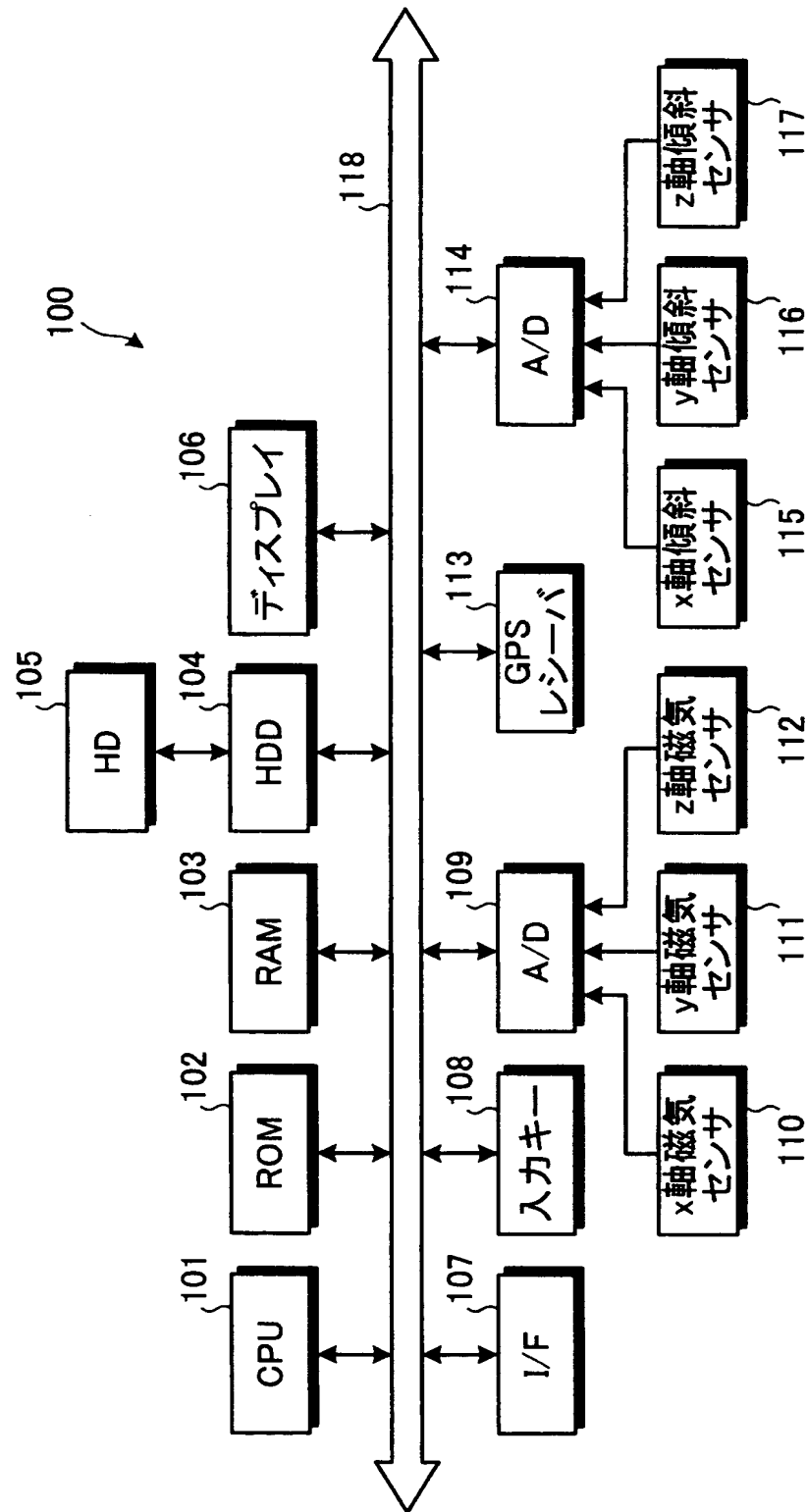
【図 10】 従来技術の処理手順を示すフローチャートである。

【符号の説明】

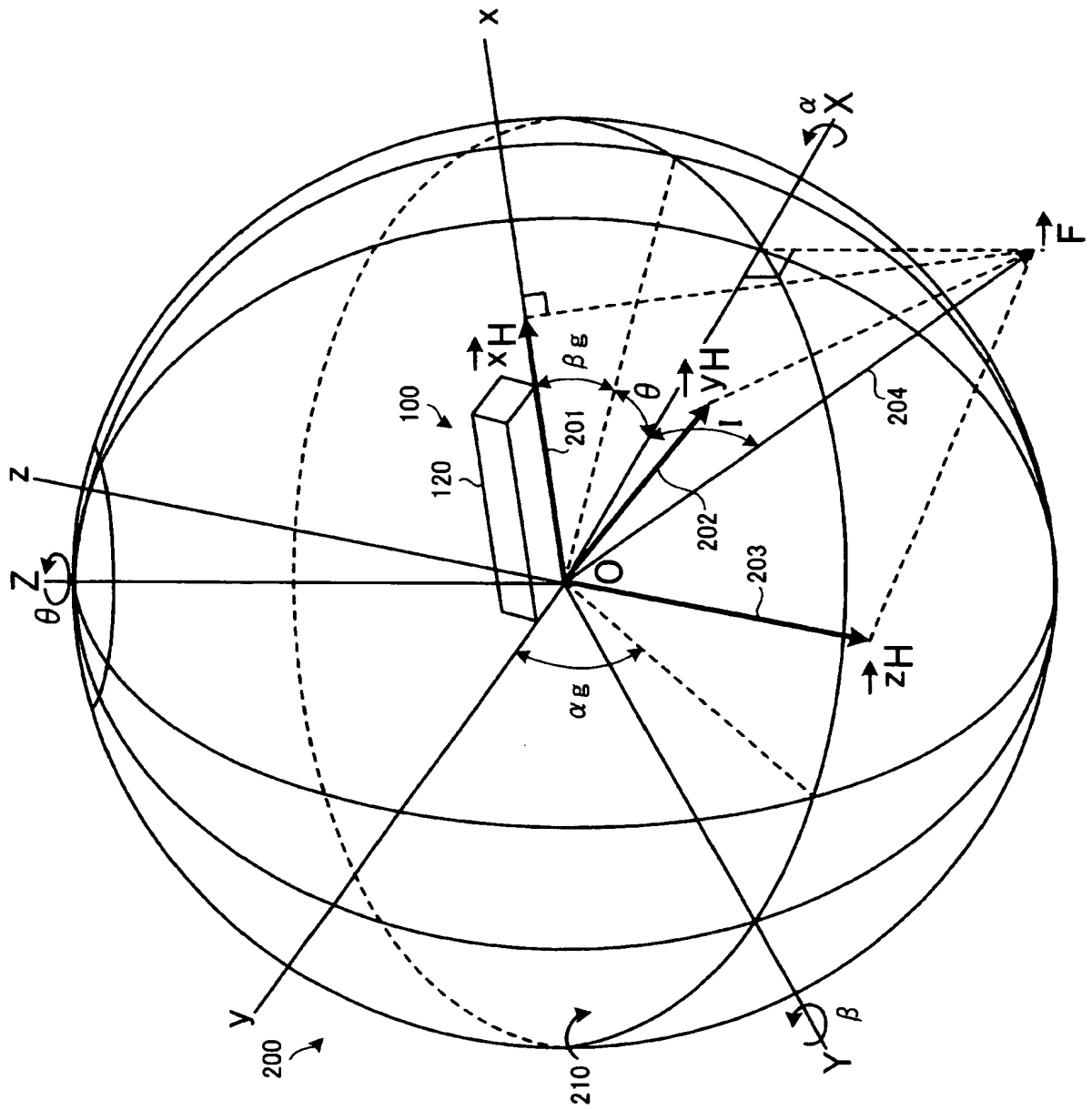
【0089】

- 100 方位測定装置
- 120 装置本体
- 301 地磁気量検出部
- 302 傾斜角検出部
- 303 方位角算出部
- $\theta 1$ 1 次方位角
- $\theta 2$ ($\theta 2 a$, $\theta 2 b$) 2 次方位角
- $\Delta \theta$ 方位誤差角
- αg ロール角 (y 軸傾斜角)
- βg ピッチ角 (x 軸傾斜角)
- D 偏角

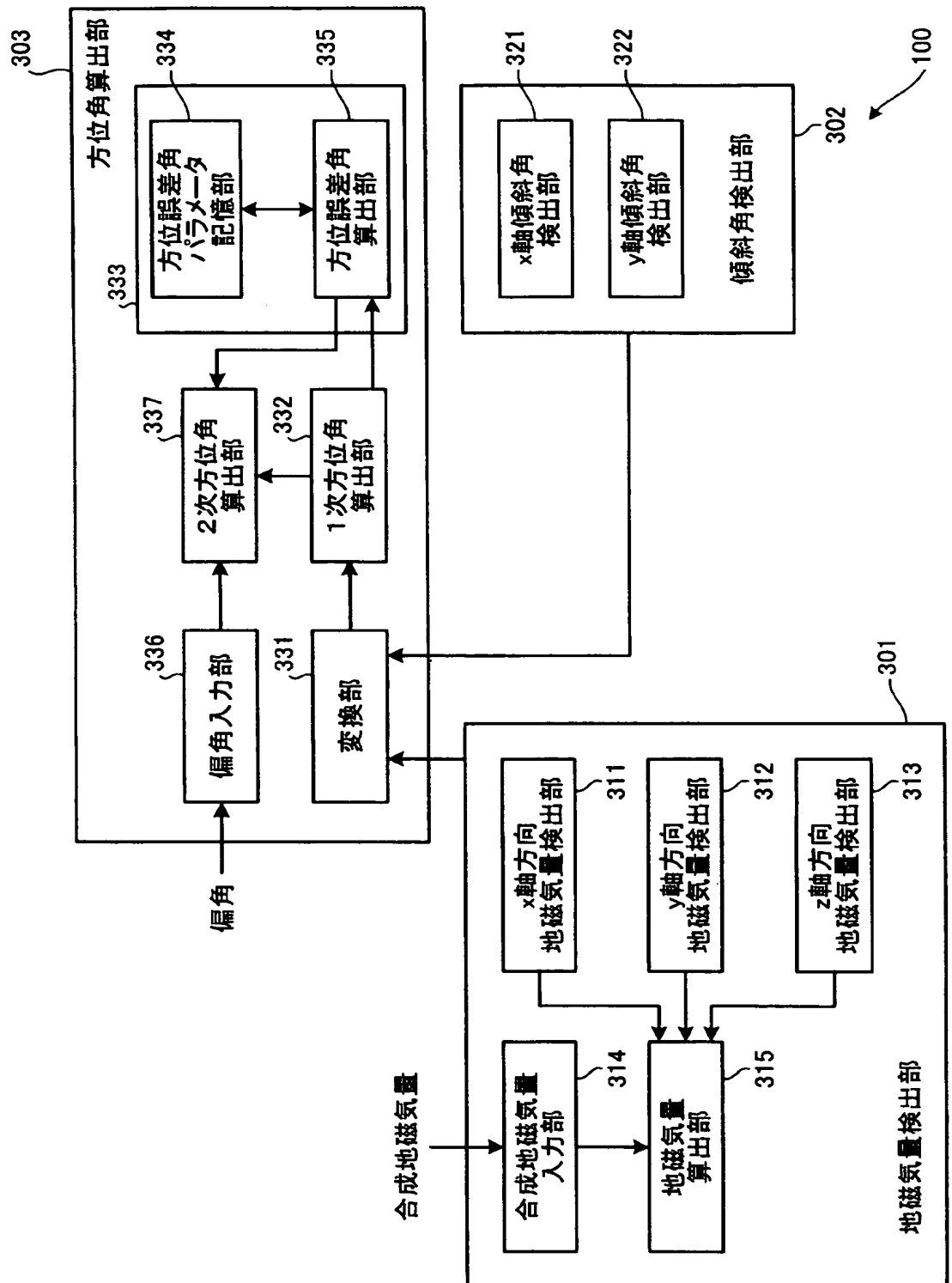
【書類名】 図面
【図 1】



【図 2】



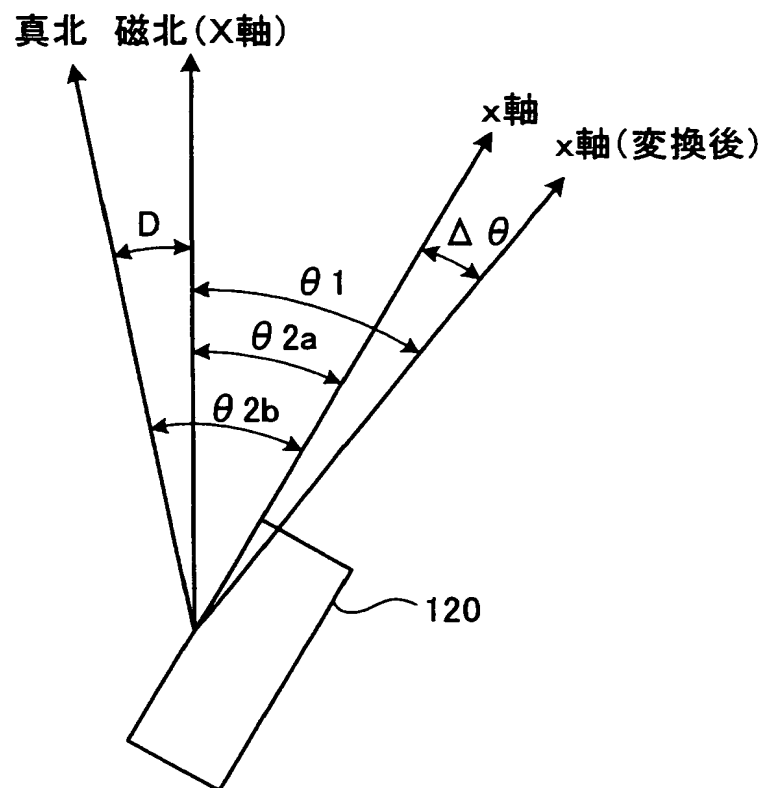
【図 3】



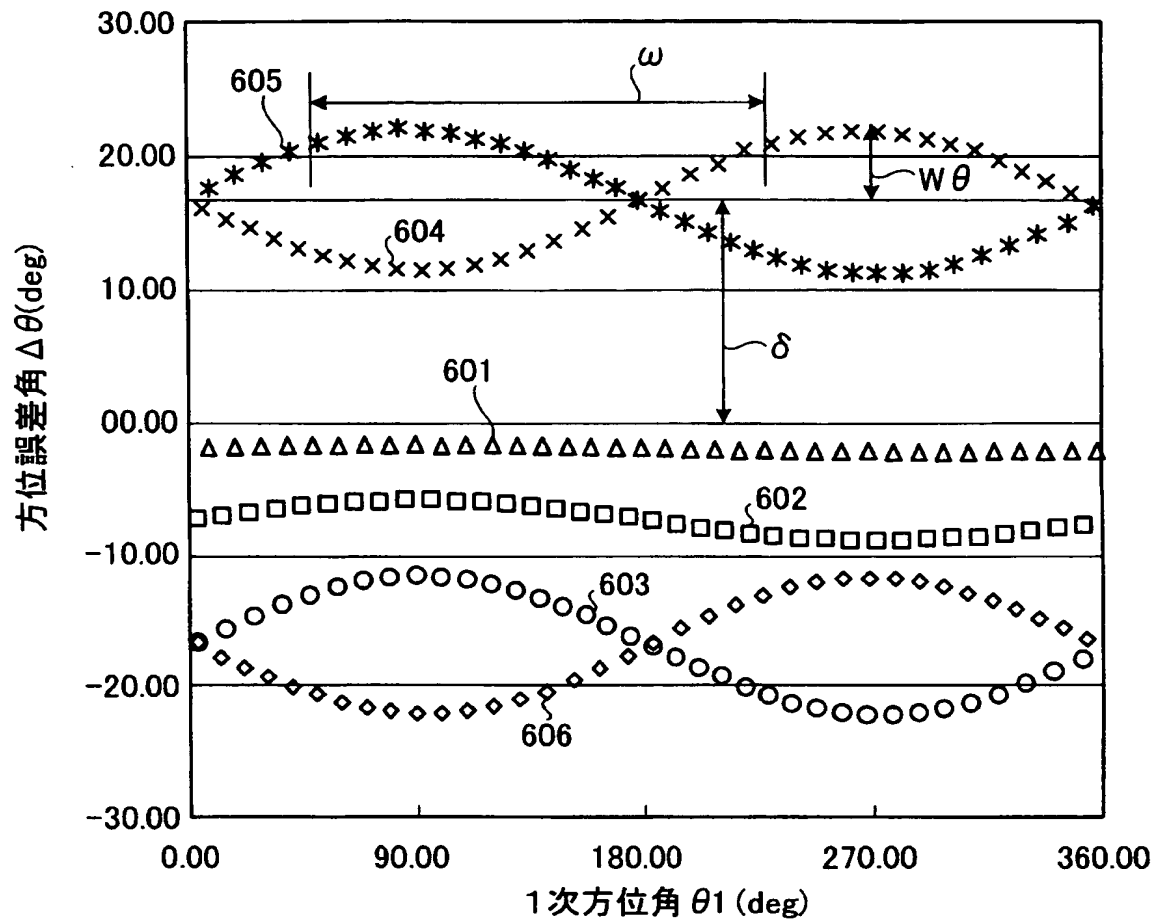
【図 4】

ロール角 α_g	ピッチ角 β_g	方位誤差 オフセット δ	振幅幅 $W\theta$	位相差 ω
10.0	10.0	-1.76	0.18	+
20.0	20.0	-7.16	1.46	+
30.0	30.0	-16.89	5.29	+
30.0	-30.0	16.81	5.30	-
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

【図 5】

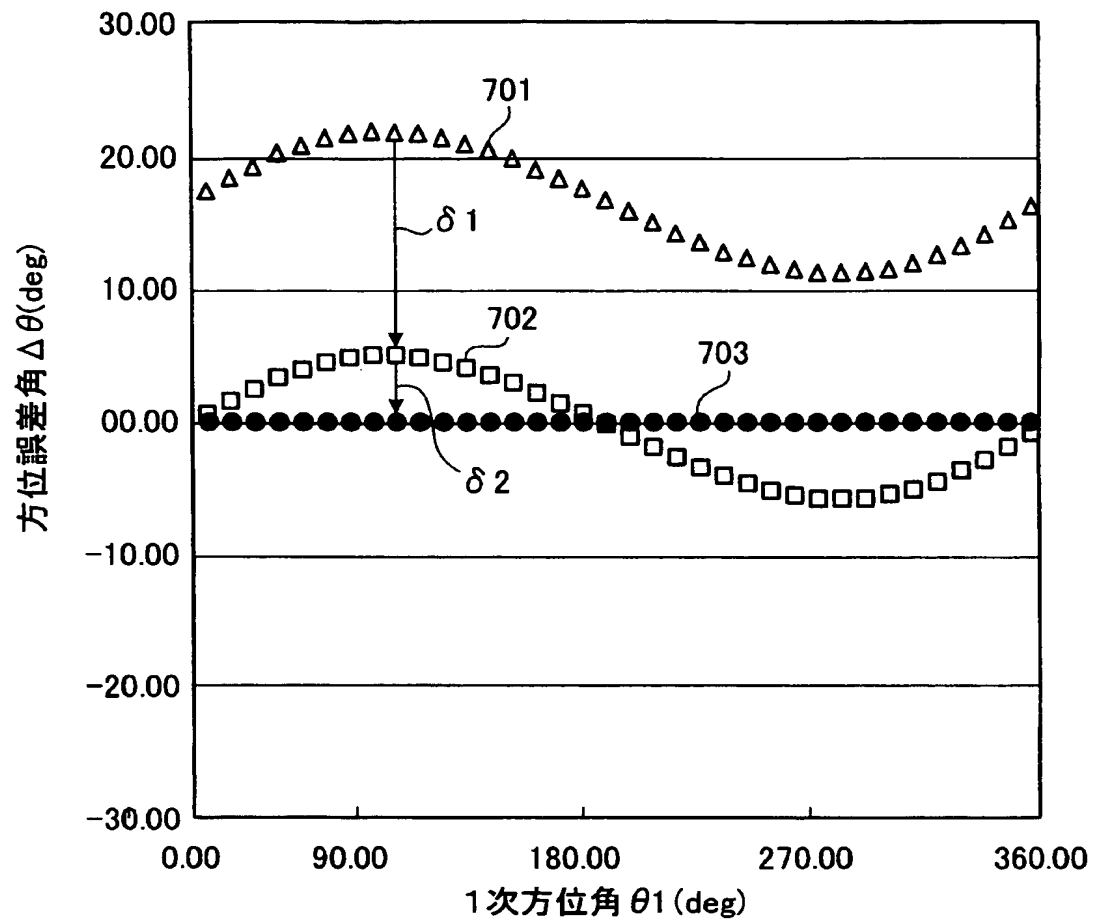


【図 6】



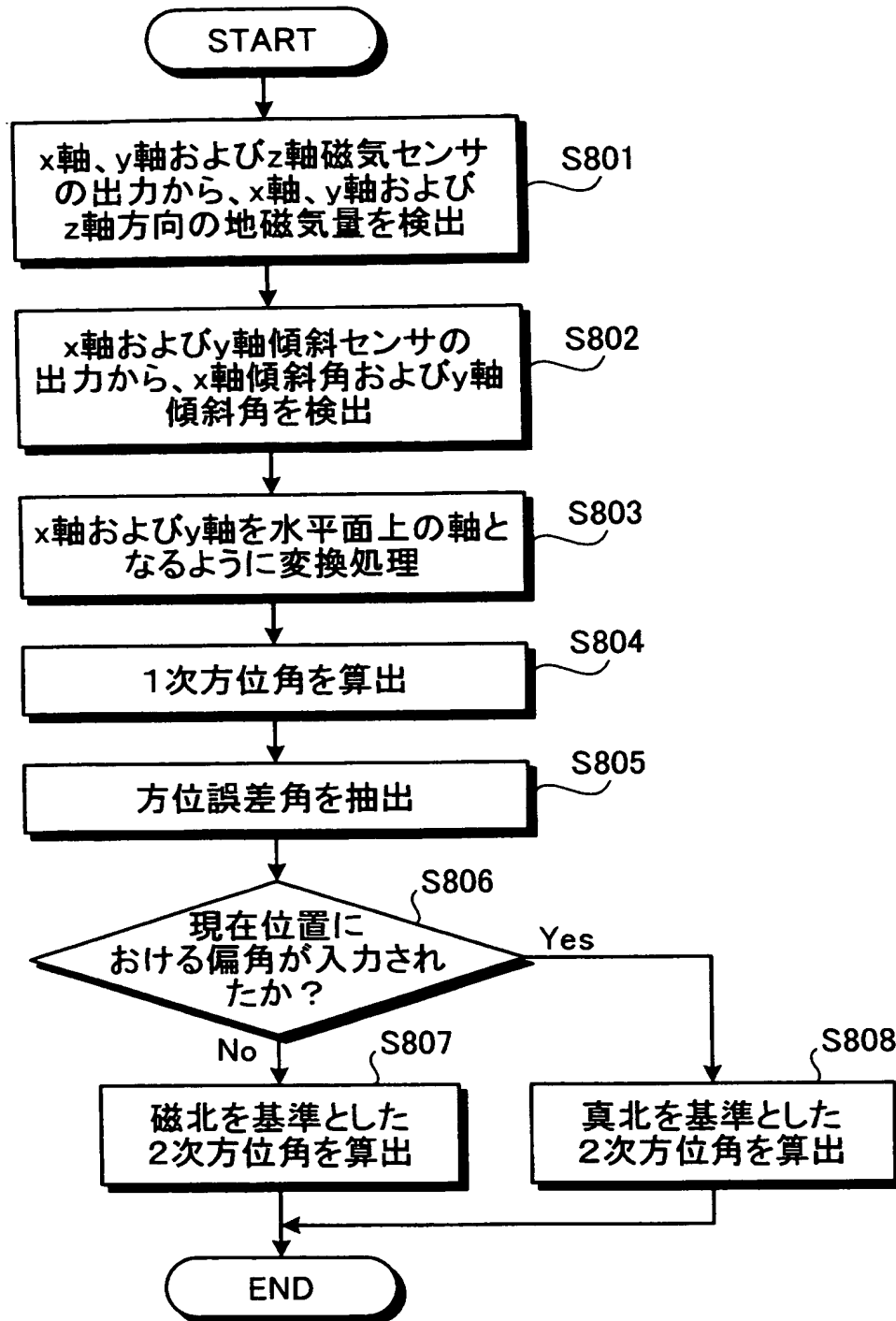
Δ $\alpha_g=10, \beta_g=10$ (601)	\square $\alpha_g=20, \beta_g=20$ (602)	\circ $\alpha_g=30, \beta_g=20$ (603)
\times $\alpha_g=30, \beta_g=-30$ (604)	$*$ $\alpha_g=-30, \beta_g=30$ (605)	\diamond $\alpha_g=-30, \beta_g=-30$ (606)

【図 7】

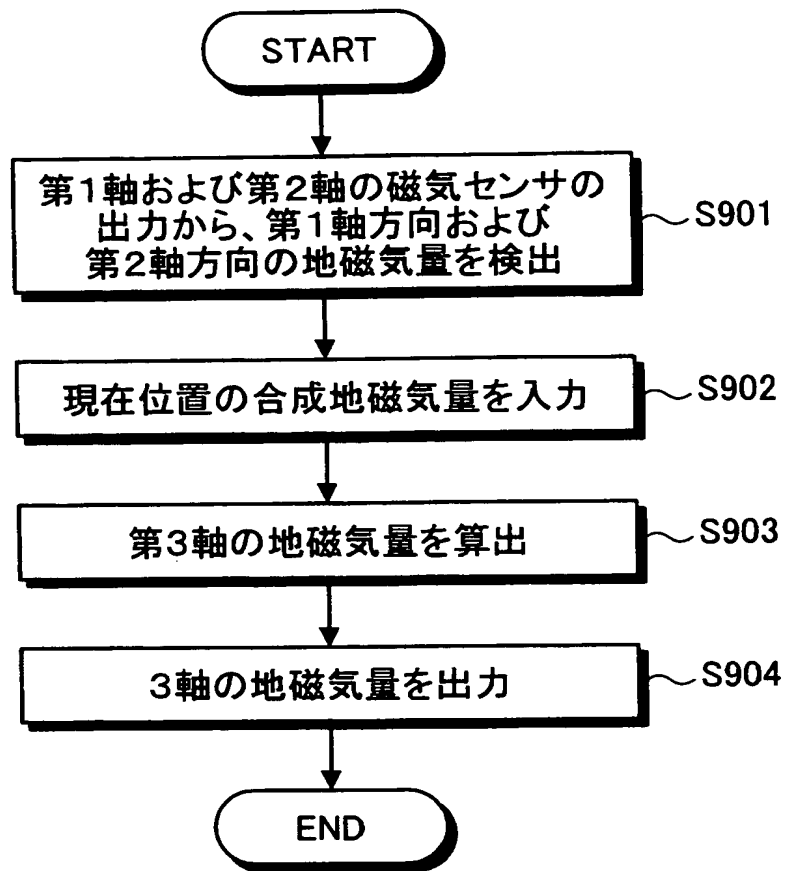


$\Delta \alpha_g = -30, \beta_g = -30$ (701)
 \square オフセットキャンセル後 (702)
 \bullet 本発明の2次方位角 (703)

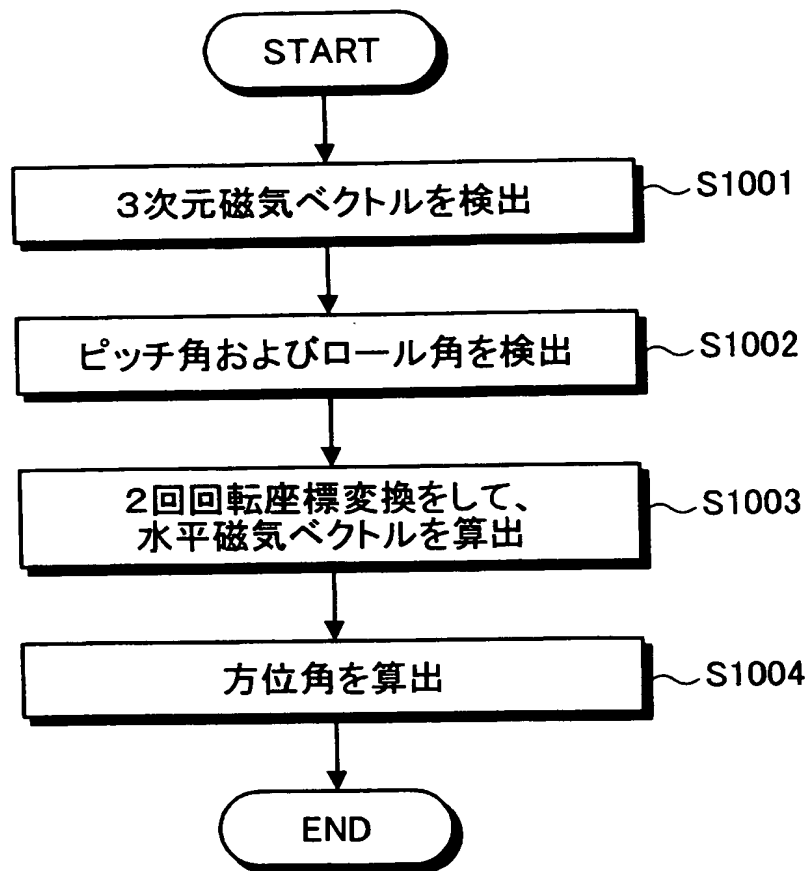
【図8】



【図 9】



【図10】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】簡易かつ高精度な方位測定をおこなうこと。

【解決手段】方位測定装置 100 は、水平面 210 上の磁北を示す X 軸、水平面 210 において X 軸に直交する Y 軸、および水平面 210 に直交する Z 軸からなる 3 次元空間における装置本体 120 の方位を測定する。方位測定装置 100 は、装置本体 120 が指し示す方向となる x 軸と水平面 210 とのなす x 軸傾斜角 βg と、x 軸に直交する y 軸と水平面 210 とのなす y 軸傾斜角 αg とを検出する傾斜角検出部 302 と、x 軸および y 軸が水平面 210 上の軸となるように変換する変換部 331 と、X 軸と変換部 331 によって変換された x 軸とのなす 1 次方位角 $\theta 1$ を算出する 1 次方位角算出部 332 と、x 軸傾斜角 βg および y 軸傾斜角 αg と 1 次方位角 $\theta 1$ とに基づいて、変換部 331 による変換がおこなわれたことによって 1 次方位角 $\theta 1$ に含まれた方位誤差角 $\Delta \theta$ を抽出する方位誤差角抽出部 333 とを備える。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 4 - 0 4 0 5 0 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 1 9 6 0]

1. 変更年月日	2 0 0 1 年 3 月 1 日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号
氏 名	シチズン時計株式会社